外生冲击在中国生产网络中的传导效应研究

王鸿涛[1] 黄书培[1*]

[1]（中国地质大学（北京） 经济管理学院 北京 100083）

摘要：本文探讨了产业层面的冲击如何经过生产网络的传导影响宏观经济的波动，并改进了测算生产网络传导效应的方法，该方法不仅拓宽了原方法的适用性，还提高了准确性。本文采用中国加入世贸组织以来所有的竞争型投入产出表，考察了中国生产网络的拓扑结构、加权度的概率分布以及对冲击的传导效应，并识别了传导冲击的关键产业。研究发现：与美国等发达国家不同，我国生产网络的加权度服从指数分布而不是幂律分布。中国生产网络对冲击的传导效应的均值为 0.376，其中约三成的传导效应来自于网络的权重结构。传导冲击的关键产业主要有：钢压延加工业、电力、热力生产和供应业、金融服务业、汽车制造业和建筑业。根据我国产业结构的特点，供给侧冲击比需求侧冲击可能造成的经济损失更大。此外，产业结构优化升级有助于减小生产网络的传导效应，从而降低经济的系统性风险。

关键词：投入产出关系;生产网络;经济冲击;传导效应

分类号：F062.9

A Research on the Propagation Effect of Exogenous Shocks in China's Production Network

Wang Hongtao[1] Huang Shupei[1]

[1](School of Economics and Management, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: From the perspective of production network, this paper discusses how the industrial structure propagate exogenous shocks, which in turn causes macroeconomic fluctuations. Starting with a Cobb-Douglas economy, we investigate the propagation mechanisms of supply-side and demand-side shocks respectively. Then, under more general conditions, it is proved that the propagation effect of the production network will not disappear with the subdivision of the industry, and the method of measuring the propagation effect is improved. The improved measurement method not only broadens the applicability of the original method, but also makes the measurement results more accurate. Using all non-competitive input-output tables since China's accession to the WTO, this paper examines the topology of China's production network, the probability distribution of weighted degrees, and the propagation effect on shocks. Key industries that propagate shocks are also identified. The research finds that China's production network has small-world properties. Unlike developed countries such as the United States, the weighted degree of China's production network

* 王鸿涛，博士生，研究方向为产业经济学、复杂网络，电子邮箱：wanghongtaocn@outlook.com；黄书培（通讯作者），博士，副教授，研究方法为复杂网络、时间序列分析，电子邮箱：hspburn@163.com。

follows an exponential distribution rather than a power-law distribution. The average value of the propagation effect of China's production network on shocks is 0.376, of which about 30% of the effect comes from the weight structure of the network. The key industries that propagation shocks are as follows: steel, electricity, heat production and supply, wholesale and retail, automobile manufacturing and construction. According to the characteristics of China's industrial structure, supply-side shocks may cause greater economic losses than demand-side shocks, especially the supply-side shocks in the mining industry. In addition, the optimization and upgrading of the industrial structure will help reduce the propagation effect of the production network, thereby reducing the systemic risks of the economy.
Keywords: Input-output linkages; Production network; Economic shock; Propagation effect
JEL Classification: D57, E32, L14

1 引言

外部冲击对于经济的重大影响，即便是没有受过专业经济学训练的人们也耳熟能详。2008 年金融危机发生后的一年里，全世界一半国家的经济活动出现下降。根据国际货币基金组织的《世界经济展望报告》，直到 2018 年许多国家的产出仍然远远低于按危机前的趋势发展所应达到的水平。俄乌军事冲突使得乌克兰氖气断供，全球的半导体产业都受到严重影响。西方国家对俄罗斯的经济制裁又造成能源价格大涨，使全世界面临巨大的通胀压力。2020 年爆发的新型冠状病毒疫情，一度使经济活动几乎停摆，直至今日仍影响着人们的日常生活。本着对人民生命高度负责任的态度，我国坚持动态清零政策，有效地遏制了新冠病毒的传播，但是正如 2021 年中央经济工作会议所指出“在充分肯定成绩的同时，必须看到我国经济发展面临需求收缩、供给冲击、预期转弱三重压力。”Guerrieri et al.（2022）[1]论证了新冠疫情造成的供给侧冲击不但会降低产业部门的潜在经济产出，还会通过降低其他部门的需求，引起需求短缺，从而可能使总产出长期低于自然水平，企业破产和工人失业还会进一步传导和放大这种冲击。因而，研究中国的生产网络及其对于冲击的传导效应，对于管控宏观经济风险具有重要意义。

本文旨在通过考察我国生产网络的结构，厘清供给侧冲击和需求侧冲击的传导模式，测算生产网络对冲击的传导效应，找出对于冲击的传导具有重要作用的关键产业，为国家在应对重大自然灾害、新冠疫情等负面冲击时，对症下药、精准施策提供参考依据。此外，研究产业结构时传统的方法总是从三次产业比重、产业结构的高级化等权重结构入手。以生产网络为视角不但能反映产业的权重结构，还能反映不同产业之间如何联系和互动的拓扑结构，是对产业结构更加完整的刻画。本文对中国加入世贸组织以来的全国生产网络结构的详细探查，还有利于加快建设“高效规范、公平竞争、充分开放的全国统一大市场”。

2 文献综述

经济学家常使用动态随机一般均衡（Dynamic Stochastic General Equilibrium, DSGE）模型来研究各种冲击对宏观经济的短期和长期影响。自从 Kydland & Prescott（1982）[2]提出第一个真实商业周期（Real Bussiness Circle, RBC）模型以来，DSGE 理论得到迅速发展。这类模型通过让随机冲击影响重要的经济变量，比如全要素生产率、贴现因子、储蓄率、人口增长率等进入经济系统，再利用经验数据对重要参数进行校准，考察经济受到冲击时的动态反应和稳态变化。经过校准的 DSGE 模型预测的经济变量的动态过程和统计特征可以与现实情况非常接近，因而如今它已成为宏观经济学家的标准工具。然而，尽管 DSGE 模型把均衡建立在微观经济主体的最优化行为之上，使其免受卢卡斯批判（Lucas, 1976）[3]的困扰，但是这类模型侧重于模拟随机的总量冲击对于均衡的影响，较少探讨微观层面的外生冲击。

那么微观冲击是否能影响宏观经济呢？传统的观点给出的答案是否定的。Lucas （1977）[4]的观点比较有代表性，他认为在一个由 n 个产业部门构成的经济中，单个产业部门受到的冲击对宏观经济波动的影响正比于 $1/\sqrt{n}$, 如果冲击是独立同分布的，那么根据大数定理，当n 趋于无穷大时，这种影响微乎其微，可以忽略不计。然而，这种观点忽视了不同产业之间的相互关联。现代经济是高度专业化的，通过不同产业的分工与协作提高了效率，这同时也意味着不同产业通过投入产出关系连成了一个整体，其中一个产业部门受到冲击时，会把这种冲

击传递给其他产业，引起连锁反应。当把产业关联纳入考量时，即使冲击本身是独立同分布的，这些冲击也会通过产业之间的关联不断传导，从而可能形成显著的宏观经济波动（Acemoglu et al.， 2012）[5]。

对产业关联的认识，可以追溯到二十世纪三四十年代，Leontief（1936，1941）[6,7]对美国产业结构的研究。列昂惕夫认为经济中的投入和产出存在固定的比例关系。他把国民经济划分成若干产业部门，根据产业部门中间产品的贸易关系联系起来，并且利用统计资料编制了美国 1919 年和 1929 年的投入产出表。投入产出表有三个象限。第 I 象限由中间投入和中间需求的交叉部分构成。水平方向表示某个产业部门的产品在各个部门间的分配，垂直方向表示某个产业部门对各个部门产品的中间消耗。第 I 象限也被称为中间消耗矩阵，是投入产出表的核心。第 II 象限和第 III 象限分别表示最终需求和增加值。投入产出方法对产业结构的详尽描述，常被用来核算贸易的增加值（Koopman et al.，2014）[8]、价值链（潘文卿和李跟强，2018）[9]、二氧化碳排放等（樊纲等，2010；Liu et al.，2015）[10,11]，但是投入产出方法对产业关联的刻画常使用基于比例和系数的方法，难以揭示产业关联的拓扑结构。

随着复杂网络理论的发展，产生了一个新的概念框架和一套广泛的工具，以有效地测量和分析构成网络的各个节点之间的相互联系。实际上，投入产出表的中间消耗矩阵本身就是一个网络，它不但定义了任意两个产业是否相连，还定义了连接的权重。在列昂惕夫做出开创性贡献的八十多年后，学者们开始用网络的视角，重新审视投入产出方法。例如，刘世锦等（2020）[12]将网络分析指标应用到中国的多区域投入产出表中，计算了中国不同区域不同产业的关联度，以此探讨了新冠疫情的应对策略。

当网络分析、投入产出方法与一般均衡理论相结合时，就成为了评估冲击如何在经济中传导、不同产业部门如何在商业周期中互动、或者微观冲击如何形成总体波动的有效工具（Carvalho & Tahbaz-Salehi， 2019）[13]。Acemoglu et al.（2012）[5]把 Long & Plosser（1983）[14]的 RBC 模型静态化并与投入产出模型相结合，论证了产业层面的供给侧冲击会向下游传导，需求侧冲击会向上游传导，并且用美国的投入产出表研究了美国生产网络的结构。Baqaee & Farhi（2018）[15]将这些结果进一步扩展到具有异质性经济主体、多种生产要素、可任意嵌套的常替代弹性（constant elasticity of substitution，CES）生产函数。Gabaix（2011）[16]和 Carvalho & Gabaix（2013）[17]把原本用于核算索洛余量的 Domar 权重 （Domar E D，1946）[18]和 Hulten 定理（Hulten C R，1978）[19]应用于分析产业层面的冲击对总体波动的影响。Liu（2019）[20]和 Bigio S & La’O J（2020）[21]则在柯布道格拉斯经济中引入了扭曲和摩擦以追溯经济波动的微观来源。为了使生产网络结构本身能对冲击做出反应，一些文献开始尝试将生产网络模型内生化（Acemoglu & Azar，2020；Oberfield，2018；Taschereau-Dumouchel，2020）[22-24]。

现代投入产出表能详细描述数百个产业的投入产出联系的复杂模式，这使得对生产网络理论进行检验成为了可能。Acemoglu D et al.（2016）[25]使用美国经济分析局（Bureau of Economic Analysis，BEA）的投入产出数据和美国联邦政府的采购数据检验了外生冲击在生产网络中传导的方向，结果表明，供给侧冲击能显著地向下游传导，需求侧冲击虽然向上游传导，但是并不显著。该研究结果部分证实了 Acemoglu et al.（2012）[5]的模型，但是并没有解决政府采购的内生性问题。为了解决内生性问题，一些学者以重大自然灾害等不可抗力因素作

为自然实验。例如，2011 年日本的福岛地震，仅从受灾地区的经济规模来看，对日本真实 GDP 增速的影响最多为 0.1 个百分点，但实际上日本当年真实 GDP 增速下降了 0.4 个百分点。Carvalho et al.（2021）[26]以福岛地震为外生冲击，从日本一家大型私营信用报告机构——东京商科研究（Tokyo Shoko Research，TSR）获得了企业级的投入产出数据，使用双重差分（Difference in differences，DID）的方法论证了生产网络中企业间的投入产出关联确实对冲击具有传导和放大的作用。此外，经合组织（OECD）国家的投入产出表数据集（STructural ANalysis Database， STAN）和国际贸易分析模型（Global Trade Analysis Project， GTAP）也被广泛用于验证生产网络理论。Blöchl et al.（2011）[27]、McNerney et al.（2013）[28]和 Fadinger et al.（2016）[29]使用这些数据发现许多发达国家的生产网络的加权度的都近似服从幂律分布。

现有的对于生产网络结构与分布的经验研究大多以发达国家为对象。发达国家经济发展水平高，经济增速缓，产业结构现代化。从发达国家归纳的生产网络的结构规律并不一定适用于发展中国家。中国作为最大的发展中国家，自从 2001 年加入世界贸易组织以来，经济迅速发展。同时，作为一个转轨经济体，中国仍然在持续努力地推动产业结构优化升级。“十四五”规划指出要继续“促进先进制造业和现代服务业深度融合，强化基础设施支撑引领作用，构建实体经济、科技创新、现代金融、人力资源协同发展的现代产业体系”。这种产业结构的变迁深刻影响着我国的全要素生产率、经济增长与风险的传导（干春晖等，2011；郭庆旺和贾俊雪，2004；刘伟和张辉，2008；刘伟和李绍荣，2002；刘金全和张鹤，2003）[30-34]。

近年来，国内许多学者把生产网络理论应用于政策分析，并且发现许多政策都能经由生产网络的传导机制产生放大作用。例如，陈胜蓝和刘晓玲（2021）[35]把国家级高新区的设立作为准自然实验，应用生产网络理论分析了高新区内企业的溢出效应，该研究表明生产网络中的上下游关系会进一步放大政策效应。倪红福（2021）[36]构建了嵌入增值税、其他生产税和要素税费的投入产出网络结构一般均衡模型，编制了与模型协调一致的税收社会核算矩阵，进而模拟并分析了减税降费政策的福利效应，该研究发现生产网络的投入产出联系越复杂，减税降费的福利收益就会越大。齐鹰飞和李苑菲（2021）[37]通过将政府消费引入带有生产网络的多部门一般均衡框架，对政府消费的生产性效应和需求侧效应进行了分解，分析了政府消费冲击借助生产率渠道在生产网络中放大和扩散的传导机制。令人遗憾的是，尽管国内的学者已经应用生产网络理论开展了一些政策传导效应的研究，但是针对我国生产网络结构本身所蕴含的传导效应的研究及其测算仍然较为罕见。

另一方面，虽然生产网络理论正逐渐朝着一般化、内生化发展，但是对于生产网络的传导效应的测算公式仍然基于 Acemoglu et al.（2012）[5]的理论模型。该模型不但依赖于柯布道格拉斯生产函数和效用函数的假设，在测算生产网络的传导效应时，还需进一步假定所有产业的中间产品投入份额相同，家庭对所有产品的消费份额也相同。如此严格的假设，大大限制了测算公式的适用性。此外，如果采用计量模型估计传导效应又面临内生性问题和企业级投入产出数据可获得性的考验。因此，迫切需要一种既没有太强的假设约束又具有较强的可操作性的测算生产网络传导效应的方法，以评估产业结构所蕴含的系统性风险。

本文的边际贡献在于：一、直接从 Hulten 定理推出了测算生产网络传导效应的公式，既放宽了原有测算方法的理论假设，拓宽了其适用性，又没有增加计

算复杂度。同时，该方法只需要规范的投入产出表数据就能进行测算，保证了可操作性，从而使生产网络的传导效应可以成为常态化经济指标，作为阶段性地对产业结构与宏观经济的系统性风险进行评估的参考。二、发现了我国生产网络不同于发达国家的分布模式。本文采用我国加入世贸组织以来，2002 年到 2020 年所有的竞争型投入产出表，对中国生产网络的拓扑结构、加权度的概率分布、关键产业的识别以及冲击的传导效应进行了研究。结果表明我国生产网络的加权度服从指数分布而不是美国等发达国家常见的幂律分布模式，并且通过类比洛伦兹曲线在分析收入分配时的经济意义，给出了加权度的指数分布模式之所以会在我国出现的合理解释。三、按改进后的方法测算的传导效应既包含生产网络的拓扑结构也包含生产网络的权重结构，而原有方法仅测算网络的拓扑结构造成的传导效应。因此通过对比两种方法的测算结果，还可以分析生产网络传导效应的来源与构成。

本文余下部分的结构安排如下：第二部分介绍理论模型，阐明供给侧冲击和需求侧冲击在生产网络中的传导模式，并推导改进后的传导效应公式；第三部分交代数据来源，考察中国生产网络的结构，识别传导冲击的关键产业，并测算生产网络的传导效应；第四部分，得出结论与政策启示。

3 理论模型

这部分将先介绍一个柯布道格拉斯经济作为基准模型以便于清晰地展示产业层面的供给侧冲击和需求侧冲击在生产网络中不同的传导模式。然后放宽该基准模型的假设，在更一般的条件下证明产业层面的冲击经过生产网络的传导后能够形成宏观经济波动，并推导出一个改进的测算生产网络传导效应的方法。在分析模型之前，我们需要先给出 Domar 权重的正式定义。

定义 1：某产业部门的总产值占 GDP 的比重即为 Domar 权重。具体来说，产业部门 i 的 Domar 权重 λ_i 定义为:

$$\lambda_i = \frac{p_i y_i}{GDP} \tag{1}$$

对所有产业部门的 Domar 权重求和，得到：

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i y_i}{GDP} = \frac{1}{GDP/\sum_{i=1}^{n} p_i y_i} = \frac{1}{\alpha} \tag{2}$$

其中，$\alpha = GDP/\sum_{i=1}^{n} p_i y_i$ 表示经济中总增加值占总产出的比重。特别地，在一个只有劳动作为最初投入的经济中，α 即为劳动投入份额。

3.1 柯布道格拉斯经济

考虑一个由 n 个完全竞争的产业 $\{1,2,\dots,n\}$ 组成的经济，每个产业部门生产不同的产品。每一种产品既可以供家庭消费，也可以作为生产其他产品的中间投入。每个产业部门的企业都采用具有规模报酬不变的柯布道格拉斯生产技术，将中间投入和劳动力转化为最终产品。于是，产量可表示为:

$$y_i = z_i \zeta_i l_i^{\alpha_i} \prod_{j=1}^{n} x_{ij}^{a_{ij}} \tag{3}$$

其中, l_i 是产业 i 雇佣的劳动力，x_{ij} 指的是用于生产商品 i 的商品 j 的数量，a_{ij} 是直接消耗系数，$\alpha_i > 0$ 表示劳动在产业 i 的生产技术中所占的份

额，z_i 是一个希克斯中性的冲击，ζ_i 是一个归一化的常数。常数的形式并不会影响模型的结果，为了便于求解，不妨设 $\zeta_i = \alpha_i^{-\alpha_i} \prod_{j=1}^{n} a_{ij}^{-a_{ij}}$。

产业部门 i 的利润为：

$$\pi_i = p_i y_i - w l_i - \sum_{j=1}^{n} p_j x_{ij} \tag{4}$$

除了上面描述的生产部门之外，经济中还有一个代表性家庭，这个家庭无弹性地提供一单位劳动力，并且对雇主提供的 n 种商品具有如下偏好：

$$u(c_1, c_2, \dots, c_n) = \sum_{i=1}^{n} \beta_i \ln\left(\frac{c_i}{\beta_i}\right) \tag{5}$$

其中，c_i 是商品 i 的消费量，常数 $\beta_i > 0$ 衡量各种商品在家庭效用函数中的份额，归一化后满足 $\sum_{i=1}^{n} \beta_i = 1$。家庭的预算约束为：

$$\sum_{i=1}^{n} p_i c_i = w \tag{6}$$

经济达到均衡时应同时满足以下三个条件：（1）企业利润最大化，（2）家庭效用最大化，（3）市场出清。

企业利润最大化的一阶条件：

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} p_i y_i}{p_j}, l_i = \frac{\alpha_i p_i y_i}{w} \tag{7}$$

根据家庭效用最大化求得的需求函数：

$$c_j = \frac{\beta_j w}{p_j} \tag{8}$$

市场出清条件：

$$y_j = c_j + \prod_{i=1}^{n} x_{ij} \tag{9}$$

把公式（7）代入公式（3），然后取对数，得到：

$$\ln(p_i/w) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \ln(p_j/w) - \epsilon_i \tag{10}$$

其中，$\epsilon_i = \ln z_i$。令 $\hat{p} = (\ln(p_1/w), \dots, \ln(p_n/w))'$，$\epsilon = (\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n)'$，公式（10）可写成矩阵形式 $\hat{p} = A\hat{p} - \epsilon$，于是我们可以解出均衡价格：

$$\hat{p} = -(I - A)^{-1} \epsilon \tag{11}$$

其中，$(I - A)^{-1}$ 被称为列昂惕夫逆矩阵，将其展开成级数形式：

$$(I - A)^{-1} = \sum_{k=0}^{\infty} A^k = I + A + A^2 + A^3 \dots \tag{12}$$

可以观察到列昂惕夫逆矩阵由三部分构成：一个单位的最终产品（I），生产一单位最终产品需要的直接消耗（A）和间接消耗（$A^2 + A^3 + \cdots$），因此列昂惕夫逆矩阵的含义是一个单位的最终需求拉动的总产出，该矩阵全面地反映了国民

经济各个部门之间错综复杂的联系。

3.2 供给侧与需求侧冲击的传导机制

从上一节的柯布道格拉斯经济中，可以直接推导出供给侧的外生冲击是如何在生产网络中传导的。把公式(7)代入公式(9)，得到 $p_j y_j = \beta_j w + \sum_{i=1}^{n} a_{ij} p_i y_i$，两边同时除以 w，得到 $\lambda_j = \beta_j + \sum_{i=1}^{n} a_{ij} \lambda_i$，将其写成矩阵形式并解出 Domar 权重 $\lambda = (I - A')^{-1}\beta$，或等价地写成：

$$\lambda_i = \frac{p_i y_i}{GDP} = \sum_{j=1}^{n} \beta_j \ell_{ji} \tag{13}$$

再结合公式（11），于是产业部门 i 的产出的对数可以写成：

$$\ln(y_i) = \sum_{j=1}^{n} \ell_{ij} \epsilon_j + \delta_i \tag{14}$$

其中，δ_i 是一个独立于供给侧冲击的常数，ℓ_{ji} 是列昂惕夫逆矩阵的第 (j,i) 个元素。回顾一下公式（12）和列昂惕夫逆矩阵的含义，就能明白 ℓ_{ji} 在生产网络中表示能把产业 i与产业 j 联系起来的所有可能的路径。公式（14）具有几个重要的含义。首先，产业部门 i 的产出取决于其他产业部门 $j \neq i$ 受到的冲击，表明经济中的投入产出联系可以作为一种将冲击从一个产业传导到另一个产业的机制。其次，这种传导模式由列昂惕夫逆矩阵而不是直接消耗系数矩阵来描述，表明直接和间接的冲击都能沿着生产网络传导。第三，产业部门 j受到冲击会通过 ℓ_{ji} 影响到产业部门 i 的产出，说明供给侧的冲击是通过生产网络向下游部门传导的，产业 j 受到的冲击会传导给它的下游部门，它的下游部门再传给下一个下游部门……

为了刻画需求侧的外生冲击，我们需要在上一节的柯布道格拉斯经济中加入一个政府部门。该政府通过对代表性家庭征收一次性扣除的总量税 T 获得收入，并且按照一个外生给定的量 g_i 采购产业 i 的产品。一次性扣除的总量税不会改变对家庭和企业的激励，因而企业利润最大化的一阶条件（公式（7））不变，由该式求出的均衡价格（公式（11））自然也不会改变。但是家庭的预算约束变成了 $\sum_{i=1}^{n} p_i c_i = w - T$，其中，$T = \sum_{i=1}^{n} p_i g_i$ 是政府的总支出。市场出清的条件变成了 $y_i = (1 - g'e)\beta + g + A'y$，其中 e 是单位向量，对该式进行移项，并求解 y，可以得到新的产出公式：

$$y_i = \sum_{j=1}^{n} \ell_{ji} g_j + \left(1 - \sum_{k=1}^{n} g_k\right)\left(\sum_{j=1}^{n} \ell_{ji} \beta_j\right) \tag{15}$$

对比公式（15）与公式（14），最大的不同在于供给侧冲击的系数与 ℓ_{ij} 相联系而需求侧冲击的系数与 ℓ_{ji} 相联系，这反映了供给侧冲击与需求侧冲击在生产网络中的传导方向是相反的。供给侧冲击向下游产业部门传导，而需求侧冲击

则会向上游产业部门传导。这一理论推导得出的结论非常符合经济直觉，可以想象在一条产业链中，上游的某个产业因为某种原因受到了一个供给侧的冲击，使得其全要素生产率降低，产量减少。随之而来的是以该产业的产品作为中间投入品的下游产业无法获得足够的投入品，也不得不减少产量，这又使得下下游的产业部门也受到冲击。于是，该供给侧冲击就会沿着产业链不断向下游传导，最终影响到所有的下游产业部门。再比如，因为疫情的影响，人们减少了对汽车的需求，这种需求侧的冲击不仅仅会影响到汽车制造业，随之而来的是，上游的零部件、钢铁、橡胶原料以及生产设备制造业等产业也会陆续受到冲击的影响。当许许多多不同的产业链相互交织在一起形成错综复杂的国民经济生产网络时，这种传导效应更加不容忽视。

3.3　测算传导效应

既然产业层面的经济冲击会在生产网络中相互传导，那么下一步需要回答两个问题：1、经过传导后的冲击能否对宏观经济造成显著的影响？2、如果这种影响确实存在，如何测算生产网络的传导效应？我们将放宽上述柯布道格拉斯经济中的假设，在更一般的条件下回答上述两个问题。

在一个由 n 个完全竞争的产业部门 $\{1,2,\dots,n\}$ 组成的经济中，每个产业部门都使用 n种中间产品和 m 种生产要素来生产不同的产品。每个企业的生产函数都是递增的，严格凹的，并且规模报酬不变。产业部门 i 的生产函数可以写成：

$$y_i = z_i f_i(x_{i1},\dots,x_{in},l_{i1},\dots,l_{im}) \tag{16}$$

其中，z_i 是一个希克斯中性的冲击，x_{ij} 和 l_{ik} 分别是投入的第 j 种中间产品和第 k种生产要素。经济中还有一个代表性家庭，有着连续且凸的偏好，用一次齐次的效用函数$u(c_1,\dots,c_n)$ 表示。根据福利经济学第一定理，竞争均衡一定是帕累托有效的。因此，均衡配置由社会福利最大化问题决定：

$$W = \max_{c_i,l_{ik},x_{ij}} u(c_1,\dots,c_n)$$

$$s.t.\ c_i + \sum_{j=1}^{n} x_{ji} = z_i f_i(x_{i1},\dots,x_{in},l_{i1},\dots,l_{im})\ \ i=1,\dots,n \tag{17}$$

$$\sum_{i=1}^{n} l_{ik} = b_k\ \ k=1,\dots,m.$$

一阶条件意味着 $\mathrm{d}u/\mathrm{d}c_i = \eta_i$，其中 η_i 是商品 i 的资源约束对应的拉格朗日乘数。又根据包络定理可得 $\mathrm{d}W/\mathrm{d}z_i = \eta_i f(x_{i1},\dots,x_{in},l_{i1},\dots l_{im}) = \eta_i y_i/z_i$，于是有：

$$\frac{\mathrm{d}\ln W}{\mathrm{d}\ln z_i} = \frac{\eta_i y_i}{W} \tag{18}$$

同理，对于家庭来说，有如下最优化问题：

$$W = \max_{c_i} u(c_1,\dots,c_n)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^{n} p_i c_i = \sum_{k=1}^{m} w_k b_k \tag{19}$$

其中，w_k 是第 k 种生产要素的价格。根据一阶条件得到 $\mathrm{d}u/\mathrm{d}c_i = \phi p_i$，$\phi$ 表示家庭预算约束对应的拉格朗日乘数。比较社会福利最优化的一阶条件，可以得到 $\eta_i = \phi p_i$，左右两边同时乘以 c_i，并对 i 求和，可得 $W = \phi \sum_{i=1}^{n} p_i c_i$，代入公式（18），得到：

$$\frac{\mathrm{d}\ln GDP}{\mathrm{d}\ln z_i} = \lambda_i \tag{20}$$

公式（20）即为 Hulten 定理：

定理 1：在一个帕累托有效的经济中，产业部门 i 受到冲击后对 GDP 增速的边际影响等于该产业部门的 Domar 权重。

根据公式（20），把 $\ln GDP$ 写成关于冲击 z 的全微分形式，即 $\mathrm{d}\ln GDP = \sum_{i=1}^{n}\lambda_i \,\mathrm{d}\ln z_i$，解微分方程，得到：

$$\ln GDP = \sum_{i=1}^{n}\lambda_i\epsilon_i + \mathrm{C} \tag{21}$$

其中，$\epsilon_i = \ln z_i$，C 为一个常数。假设产业层面的经济冲击 ϵ_i 是独立同分布的，并且均值为 0，存在有限的方差 σ^2。对公式（21）求标准差，可以得到：

$$\sigma_{agg} = \mathrm{stdev}(\ln GDP) = \sigma\|\lambda\| \tag{22}$$

其中，$\|\lambda\| = (\sum_{i=1}^{n}\lambda_i^2)^{\frac{1}{2}}$。于是，得出如下定理：

定理 2：在一个帕累托有效的经济中，如果产业层面的经济冲击 ϵ 是独立同分布的，并且均值为 0，存在有限的方差 σ^2，那么经济冲击经过生产网络的传导后造成的宏观经济波动为 $\sigma\|\lambda\|$。

为了说明微观冲击对宏观经济的影响并不会随着产业部门数量 n 的增加而逐渐消失，根据 $\sum_{i=1}^{n}\lambda_i = 1/\alpha$，重写公式（22），得到：

$$\sigma_{agg} = \frac{\sigma/\alpha}{\sqrt{n}}\sqrt{1+n^2\alpha^2\mathrm{var}(\lambda)} \tag{23}$$

由此可见，如果 Domar 权重的方差为 0，那么 $\lim_{n\to\infty}\sigma_{agg} = \lim_{n\to\infty}\frac{\sigma/\alpha}{\sqrt{n}} = 0$，这正是 Lucas（1977）[4]的观点，即随着经济中产业部门的增多，产业层面的经济冲击对宏观经济的影响可以忽略不计。然而，只要 Domar 权重的方差不为 0，这种观点就难以成立。事实上，当 Domar 权重的方差足够大，例如大于等于 1 时，随着产业部门的数量不断增大，生产网络对微观冲击的传导效应甚至可以是无穷大，即 $\lim_{n\to\infty}\sigma_{agg} = \infty$。特别地，在基准模型中，企业采用柯布道格拉斯生产技术，并且每个产业的要素投入份额均为 α，中间产品投入份额均为 $1-\alpha$；消费者具有对数效用函数，并且对每种产品的消费份额均为 β，于是有 $\sigma_{agg}^{*} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\sqrt{\alpha^{-2}+\mathrm{var}(v_1,\dots,v_n)}$，其中，$v_i = \sum_{j=1}^{n}\ell_{ji}$ 是列昂惕夫逆矩阵的第 i 列的列和。根据公式（23），我们可以测算出生产网络对经济冲击的传导效应为：

$$E = \|\lambda\| = \frac{1}{\alpha\sqrt{n}}\sqrt{1+n^2\alpha^2\mathrm{var}(\lambda)} \tag{24}$$

特别地，在基准模型中有 $E^{*} = \sqrt{\alpha^{-2}+\mathrm{var}(v_1,\dots,v_n)/n}$。

因此，生产网络的传导效应主要取决于网络的异质性。如果生产网络完全不具备异质性，即每个产业在生产网络中都具有同样的重要性，那么当受到一个独立同分布且均值为零的冲击时，正面冲击的效应和负面冲击的效应会相互抵消，生产网络能起到的传导作用就十分有限。

4 经验分析

根据上一部分的理论分析可知，生产网络对外生冲击的传导效应的大小主要取决于网络的异质性，这种异质性既来自于生产网络的拓扑结构也来自于权重结构。在这部分，我们首先交代数据来源；然后考察了我国现实中的生产网络的结构，发现与美国等发达国家相比，中国生产网络加权度的分布具有特殊性，并讨论了可能的原因；接着运用投入产出分析的前向关联和后向关联指标，分别找出了传导供给侧冲击和需求侧冲击的关键产业；继而应用改进的方法测算了中国生产网络对外生冲击的传导效应，并与原有方法的测算结果进行了比较分析；最后探讨了在面对重大外部冲击时，如何尽可能地减少宏观经济的损失。

4.1 数据来源

本文采用中国投入产出表的中间消耗矩阵来构建生产网络，考察中国生产网络的拓扑结构、加权度的概率分布以及对产业层面的冲击的传导效应。宏观经济数据来自世界银行和国家统计局发布的年度数据。生产网络数据来自国家统计局公布的 2002 年、2007 年、2012 年、2017 年、2018 年和 2020 年的竞争型投入产出表。这些投入产出表是可公开获取的关于中国产业部门间贸易关系的最精细的数据集，其中产业部门划分与《国民经济行业分类标准（GB/T 4754）》中的大类基本一致。本文介绍的理论模型中的变量均可通过投入产出分析获得，其中 n 为投入产出表的产业部门数量，α 为总增加值占总产出的比重，v_i 为列昂惕夫逆矩阵第 i 列的和。

4.2 中国生产网络的结构

本文以投入产出表的中间消耗矩阵为数据来源，以产业部门为节点，产业间的投入产出关联为边，贸易额为权重构建生产网络。在网络中，度（degree）是指一个节点与其他点的连接数量，入度是指指向该节点的边的数量，出度是指从该节点出发指向其他节点的边的数量。加权度（weighted degree）是度的加权和，加权出度、加权入度同理。度分布（degree distribution）就是整个网络中，各个节点的度数的概率分布。累计度分布（cumulative degree distribution）就是度数大于或者等于 k 的节点出现的概率。

表 1 中国生产网络的基本结构

变量	2002 年	2007 年	2012 年	2017 年	2018 年	2020 年
节点数	122	135	139	149	153	153
边数	11559	13857	14789	16231	16785	16859
平均度	94.75	102.64	106.40	108.93	109.71	110.19
网络直径	2	3	3	2	2	2
图密度	0.78	0.77	0.77	0.74	0.72	0.72
平均聚类系数	0.80	0.79	0.79	0.77	0.76	0.76
平均路径长度	1.21	1.23	1.23	1.24	1.25	1.24

从 2002 年到 2020 年，我国真实 GDP 增长了约 3.5 倍，规模以上工业企业数增加了 1.2 倍左右，《国民经济行业分类标准（GB/T 4754)》发布了 3 版。相应地，生产网络节点数从 122 个一直在增加到 153 个，边增加了 5300 条（见表 1）。这正是经济增长，贸易规模扩大，产业链分工不断细化和专业化在生产网络上的反映。于此同时，不同产业间的相互协作也在不断加深，2020 年的平均加权度已达到 2002 年的 7 倍左右。我国生产网络的直径、平均路径长度都很短，网络密

度和平均聚类系数都很大，这反映了我国生产网络具有小世界的属性，不同产业之间的联系比较直接，任何两个产业之间，平均只要经过 1 个中间产业就能建立连接，最多的也只经过 2 个或 3 个中间产业。值得注意的是，与权重无关的网络指标都非常稳定，在我国经济高速增长的时期内基本保持不变，这反映了生产网络的拓扑结构是稳定的。

图 1 展示了中国生产网络的加权度的分布情况。我们首先分析生产网络加权入度占总加权度的比重，即每个产业的中间产品投入占总投入的份额。从图 1a 可以发现，2002 年至 2020 年，中国所有产业部门的中间产品投入份额形成的分布曲线都很相似，形态接近正态分布，均值略高于 0.5，标准差在 0.15 左右，峰度在[-0.06,0.74]之间，偏度在[-0.11,0.70]之间，95.5%左右的产业部门的中间产品投入份额落在以均值为中心正负两个标准差的区间内。同理，图 1b 呈现了所有产业的中间产品产出占总产出的比重的分布情况。对每个产业部门而言，加权入度比重与加权出度比重之和等于 1。因此，如果不考虑统计误差，那么图 1a 和图 1b 应该是完全轴对称的，中间产品投入份额与中间产品产出份额其实是同一个经济现象的不同表述。回顾基准模型，中间产品投入份额是直接进入生产函数的，并且在计算传导效应时，需要进一步假定所有产业部门的中间产品投入份额相同，从而把传导效应转化为列昂惕夫逆矩阵列和方差的函数。然而，这与我国的现实情况相去甚远。事实上，中国生产网络中各个产业部门的中间产品投入份额的分布并没有那么集中，而是相当具有异质性的。

与加权度比重的分布情况不同，加权入度和加权出度的经验分布是非常不对称的，右侧拖着长尾（见图 1c 和图 1d）。这种明显偏向一侧的分布表明，某些产业的产品是被广泛使用的通用中间投入品，或者某些产业几乎是所有中间产品的购买方，因而他们具有很大的加权度。这些产业部门或者中间产品虽然数量少，但是在产业链中起到关键作用。因此，那些加权度远高于平均加权度的产业部门是生产网络中不可忽视的关键节点。这些关键产业主要有：商务服务业、货币金融服务业、钢压延加工业、电力、热力生产和供应业、批发和零售业、建筑业和汽车制造业等。从 2002 年到 2020 年，生产网络中最关键的产业逐渐由原材料和能源供应（钢压延加工业、电力、热力生产和供应业）转向商业服务（商务服务业、货币金融服务业），这反映出了我国产业结构从以制造业为主向以服务业为主的调整和转型。

根据美国等发达国家的经验，生产网络的加权度往往服从幂律分布。幂律是两个量之间的函数关系，其中一个量的相对变化导致另一个量成比例的相对变化，这种变化与这些变量的初始大小和单位无关，只与它们的变动率有关。幂律的这种属性被称为无标度性，因此服从幂律分布的网络也被称为无标度网络。根据幂律的无标度性，自变量与其累积分布函数（cumulative distribution function, CDF）在对数坐标轴上的图像是一条直线。这是一种增长率意义上的完全平均分配。指数分布则与之不同，指数分布在对数坐标系中仍然是一条曲线，但在半对数坐标系中成一条直线，这代表着增长率意义上的不平均分配，反映了增长率存在两极分化的现象。因此，幂律分布是一种分配型的分布，而指数分布是一种增长型的分布。

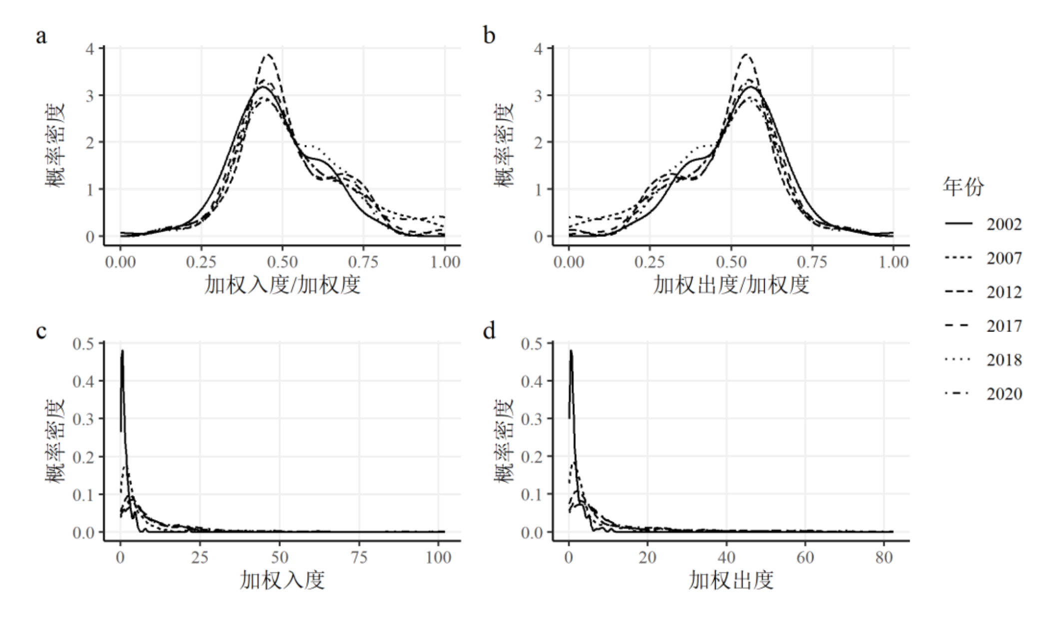


图 1 生产网络加权度的分布

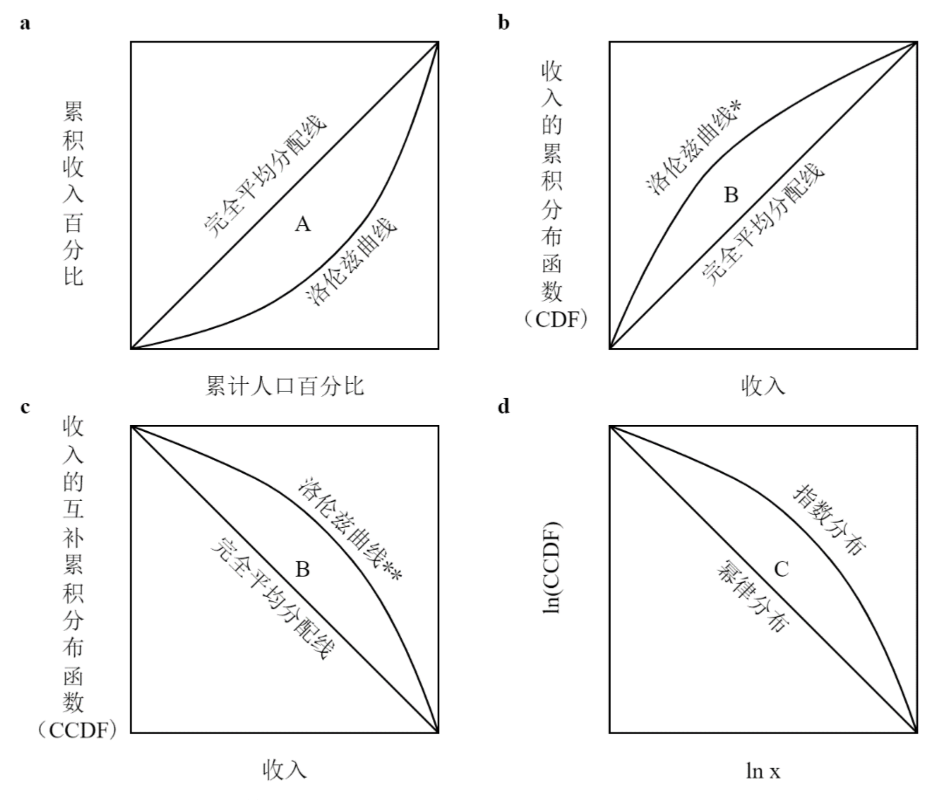


图 2 幂律分布、指数分布与洛伦兹曲线类比示意图

类比一下洛伦兹曲线的含义，有助于理解幂律分布与指数分布蕴含的这种经济意义。图 2a 中横轴表示按收入从低到高排序后的累积人口百分比，纵轴表示对应人口累计的收入占总收入的百分比，对角线表示收入的完全平均分配，洛伦兹曲线是现实中的收入分配情况呈现出来的形状，它表示社会中的少数成员占有了多数的收入。洛伦兹曲线的弯曲程度或者由其和完全平均分配线围成的面积 A 的大小都可以反映收入分配的不平等程度。如果用面积 A 除以完全平均分配线右

下方的整块面积就得到了基尼系数。直接用收入的累积分布函数也能反映收入分配情况（见图 2b）。收入的累计分布函数的图像的弯曲程度也反映了收入分配的不平等程度，只是其弯曲的方向发生了改变，另外它与对角线围成的面积 B 会随着收入单位的变化而变化。把收入的累计分布函数的图像以纵轴为中心做轴对称变化，再向上平移一个单位，就得到了经验研究中常用的互补累积分布函数（counter-cumulative distribution function, CCDF）的图像，即图 2c，该图像与幂律分布和指数分布在对数坐标系上的图像基本一致。对数表示的是增长率，于是，从图 2d 可以发现幂律分布和指数分布反映的是对自变量增长率不同的分配模式，前者是完全平均分配，后者是不平均的分配。因此生产网络加权度服从幂律分布意味着，随着经济增长，各产业部门的相对规模在经济中保持不变，这是一种相当稳定的产业结构。生产网络的加权度如果服从指数分布则意味着，随着经济增长，优势产业在经济中的比重会越来越大，劣势产业在经济中的比重会越来越小，甚至被完全淘汰。

为了进一步考察我国生产网络加权度的分布情况，图 3a 和图 3b 分别画出了加权度、加权入度和加权出度在对数坐标轴和半对数坐标轴上的互补累积分布函数（counter-cumulative distribution function, CCDF）的图像。显然，我国生产网络并不服从幂律分布，因为在图 3a 中无论是加权度、加权入度还是加权出度，无论是哪一年，均不能在对数坐标轴上形成一条直线。但是它们在半对数坐标轴上明显呈现出直线的形式（见图 3b），而这正是指数分布的特征。特别地，指数分布的均值和方差，分别是指数分布参数的倒数和倒数的平方。于是，通过 OLS 回归，我们计算出了图 3b 中的这些直线的斜率，这些斜率的绝对值即为对相应指数分布参数的估计，顺便也得到了对均值和方差的估计。表 2 给出了估计结果，所有估计值的置信度均在 99%以上。从 2002 年到 2020 年，中国生产网络的加权度、加权出度和加权入度的指数分布参数逐渐减小，均值和方差日益增大。这一方面表明我国的经济规模迅速扩大，另一方面也反映了不同产业部门的经济规模差距扩大。

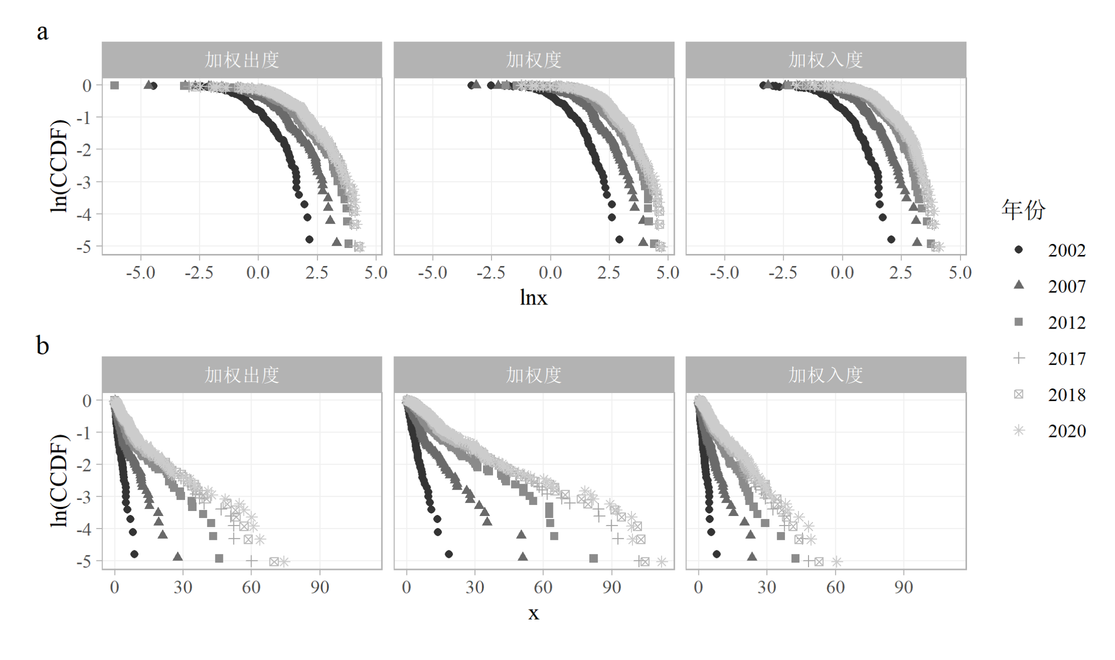


图 3 中国生产网络加权度、加权出度和加权入度的 CCDF 图像

表 2 指数分布的参数估计

	加权度			加权出度			加权入度		
	$\hat{\theta}$	$1/\hat{\theta}$	$1/\hat{\theta}^2$	$\hat{\theta}_1$	$1/\hat{\theta}_1$	$1/\hat{\theta}_1^2$	$\hat{\theta}_2$	$1/\hat{\theta}_2$	$1/\hat{\theta}_2^2$
2002 年	0.31	3.18	10.13	0.60	1.67	2.78	0.69	1.45	2.11
2007 年	0.11	8.90	79.20	0.22	4.60	21.14	0.24	4.16	17.29
2012 年	0.06	16.14	260.39	0.11	9.11	82.93	0.13	7.63	58.16
2017 年	0.05	20.47	418.93	0.09	11.28	127.33	0.11	9.50	90.25
2018 年	0.05	21.92	480.67	0.08	12.33	151.92	0.10	10.18	103.64
2020 年	0.04	23.05	531.12	0.08	13.19	174.01	0.09	11.06	122.37

许多经验研究表明发达国家生产网络的加权度普遍服从幂律分布，而本文发现我国生产网络的加权度服从指数分布。根据上述分析，那么应该在现实中观察到随着经济增长，发达国家的产业结构保持稳定，而我国的产业结构则会不断发生变化。事实确实如此。图 4 给出了中国、美国、日本、德国四大经济体从 2002 年到 2019 年第三产业比重的变化趋势图。可以发现 2009 年因金融危机导致大量第二产业企业破产，引起了美日德三国的第三产业比重临时上升，除此之外，美日德三国的产业结构在 18 年里基本保持稳定。而中国的第三产业比重则一路攀升，从 2002 年的 42.2%到 2019 年达到了 54.3%，增长了 12.1 个百分点。

中国生产网络加权度的分布之所以展现出与发达国家不同的模式，很可能是因为我国与发达国家处于不同的经济发展阶段。发达国家经济成熟，增速缓，产业结构稳定，因而生产网络的加权度多呈现出幂律分布的形式。中国作为新兴经济体，自 2001 年加入世界贸易组织以来，经济增长迅速，2002 年至 2018 年，GDP 年均增速达到 9.32%，2003 年至 2008 年，每年的 GDP 增速都在 10% 以上。中国经济规模从 2002 年的世界第 6（位列美日德英法之后）到 2010 年超越日本成为世界第二大经济体，仅用了 8 年时间。同时，中国作为一个转轨经济体，产业结构也在不断调整。制造业逐渐从劳动密集型的来料加工模式向资本密集型的高新技术制造业转变。伴随着互联网企业、电子商务的崛起，服务业逐渐取代制造业成为主导产业。这种产业转型升级的过程见证了旧产业的淘汰和新产业的兴起，因而不同产业在增长率上有两极分化的趋势，反映到生产网络加权度中就呈现出指数分布的形式。

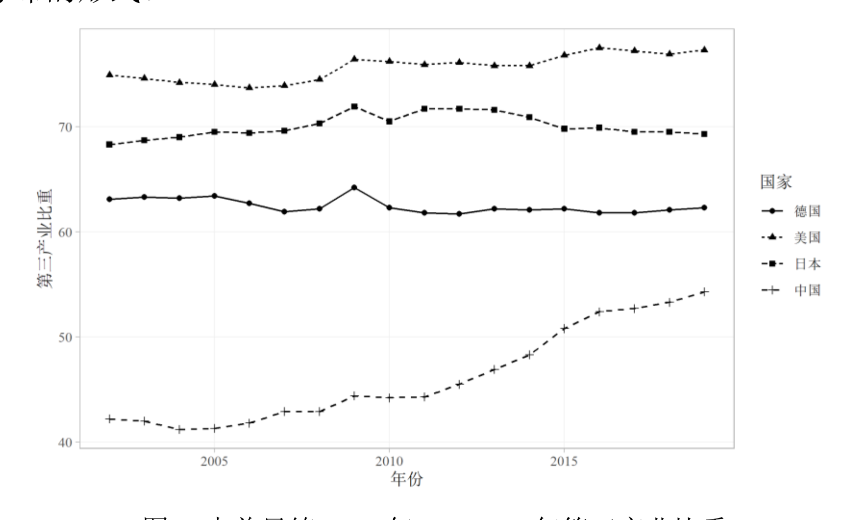


图 4 中美日德 2002 年——2019 年第三产业比重

4.3 传导冲击的关键产业

生产网络传导效应的大小取决于网络的异质性程度，因此那些加权度远高于平均加权度的节点是生产网络中传导冲击的关键产业。这些关键产业往往是产业链某个环节的核心部分。从中间产品的供应方来看，这些关键产业主要可分为三类：商业服务（商务服务业、货币金融服务业）、原材料和能源供应（钢压延加工业、电力、热力生产和供应业）、中间产品流通环节（批发和零售业）。从中间产品的需求方来看，关键产业主要是一些位于产业链下游的整合部门，例如建筑业、汽车制造业等。这些产业一旦受到冲击，引起的传导效应会很大，对经济造成的损失就会比较严重。

供给侧冲击和需求侧冲击在生产网络中的传导方向是不同的，因此需要识别出哪些产业对供给侧冲击的传导作用比较大，哪些产业对需求侧冲击的传导作用比较大。根据投入产出理论，产业关联可以分为后向关联和前向关联。后向关联是指产业部门与供给其原材料、能源、劳务和设备等投入品的产业部门之间的联系。因为需求侧冲击会向上游传导，所以后向关联大的产业部门受到需求侧冲击时的传导作用会比较大。前向关联是指产业部门与使用或消耗其产品的产业部门的联系。因为供给侧冲击会向下游传导，所以前向关联大的产业部门受到供给侧冲击时的传导作用会比较大。本文使用投入产出分析中通常的做法，用列昂惕夫逆矩阵的列和测算后向关联，用 Ghosh 逆矩阵的行和计算前向关联。表 3 分别给出了 2020 年我国生产网络中后向关联和前向关联排名前十的产业部门，可以发现后向关联大的主要是工业制成品，这些产品包含许多复杂的零部件，因此需要许多上游产业的共同参与。另一方面，这些产业的产品靠近产业链的末端，接近消费端，更容易受到需求侧的冲击。前向关联大的主要是提供能源和工业原材料的产业，例如采矿业、石油、天然气、煤炭、基础化学原料、电子元器件等。这些产业提供的是通用中间产品，几乎所有的制造业都需要用到这些产品。这些产业如果受到供给侧的冲击，会对经济造成重大损失，甚至瘫痪许多其他产业的经济活动。横向对比传导冲击的关键产业，前向关联度都比后向关联度要大。因此，与需求侧冲击相比，供给侧的冲击可能会造成更大的伤害，所以越是上游的关键产业，尤其是采矿业，越需要加强其面对负面冲击时的稳健性，尽量减小向下游传导的冲击，从而避免造成巨大的宏观经济损失。

表 3 2020 年后向关联和前向关联排名前十的产业部门

序号	部门	后向关联	序号	前向关联	前向关联
1	计算机	4.10	1	开采辅助活动和其他采矿产品	10.41
2	视听设备	4.01	2	石油和天然气开采产品	10.23
3	广播电视设备和雷达及配套设备	3.99	3	有色金属矿采选产品	10.10
4	通信设备	3.96	4	黑色金属矿采选产品	9.66
5	电子元器件	3.79	5	基础化学原料	5.52
6	其他电气机械和器材	3.71	6	煤炭开采和洗选产品	5.38
7	家用器具	3.66	7	电子元器件	5.36
8	输配电及控制设备	3.61	8	有色金属及其合金	5.26
9	文化、办公用机械	3.59	9	废弃资源和废旧材料回收加工品	5.02
10	针织或钩针编织及其制品	3.57	10	合成材料	4.73

例如，2021 年下半年中国多个省市出现的严峻的停电限电事件，其主要原因

就是关键产业（煤炭开采业以及电力、热力生产和供应业）受到了严重的供给侧冲击。为了实现“在 2030 年前二氧化碳排放达到峰值，努力争取在 2060 年前实现碳中和”的“双碳”目标，我国实行“双控政策”，即实施能源消耗总量和强度的共同控制政策。2021 年 8 月中国发展改革委员会发布的《2021 年上半年各地区能耗双控目标完成情况晴雨表》显示，全国 19 个省份为一级、二级预警。被上述“晴雨表”点名的地方政府，开始实施严格的限电措施。“命令式”限电停产直接冲击了工业生产，甚至在东三省地区影响了居民用电。令事情雪上加霜的是，2021 年 10 月 2 日至 7 日，山西各地均出现大范围降雨，局部地区遭受严重雨涝灾害。受较强降雨和上游来水影响，山西省的汾河、沁河、浊漳河等多条河流发生涨水过程及险情。据山西省应急管理厅消息，此次汛情停产煤矿 60 座、非煤矿山 372 座。煤炭产量减少，供不应求，导致煤炭价格快速上涨，而我国的电价仍受到管制，并不能随煤价上涨而上涨，使得火电企业面临发电即亏损的困境，因而缺乏发电动力，进一步加剧了电力供应的紧张，严重冲击了工业生产。最终，我国政府做出响应，通过加大对发电供热煤炭铁路运输的支持，有条件的实行浮动电价制及发表社论坚决纠正地方“一刀切”运动式减碳，使得情况得以逐步改善。由此可见，提高关键产业部门面对外生冲击时的稳健性，对于经济的平稳运行具有重要意义。

4.4 生产网络对冲击的传导效应

表 4 给出了中国生产网络对冲击的传导效应的测算结果。n 表示产业部门数量，E 和E^* 分别是用改进后的测算方法和原测算方法计算的总传导效应，总传导效应除以 $\sqrt{n}$ 表示单个产业的平均传导效应。从六次测算的均值水平上看，我国生产网络的总传导效应为 0.376，换言之，产业层面受到的冲击经过生产网络的传导会使 GDP 增速的标准差增加 0.376，平均每个产业会使 GDP 增速的标准差增加 0.032。这意味着，产业层面的受到的微观冲击确实能形成显著的宏观经济波动。从时间趋势上看，2002 年到 2020 年，我国生产网络的传导效应总体上比较稳定，没有出现明显的跳跃式波动，但略有下降趋势。我国产业结构的优化可能是生产网络的传导效应下降的原因。但是与发达国家相比，我国的产业结构不稳定，仍然处于转型升级的阶段，生产网络的异质性更强，因此也具有更大的传导效应。这意味着，同样的外生冲击对我国造成的损失可能会更大。因而我们要为产业的转型升级创造良好的条件，尽快建成现代化的产业体系，实现经济高质量发展的同时，还能降低宏观经济的系统性风险。

表 4 中国生产网络的传导效应

	2002 年	2007 年	2012 年	2017 年	2018 年	2020 年	均值
n	122.000	135.000	139.000	149.000	153.000	153.000	141.833
E	0.393	0.429	0.390	0.357	0.347	0.338	0.376
E^*	0.237	0.270	0.259	0.230	0.224	0.219	0.240
$E/\sqrt{n}$	0.036	0.037	0.033	0.029	0.028	0.027	0.032
$E^*/\sqrt{n}$	0.021	0.023	0.022	0.019	0.018	0.018	0.020

从表 4 还可以发现，原有的测算方法会低估生产网络的传导效应。因为在基准模型中每个产业都采用柯布道格拉斯生产技术，消费者都具有对数效用函数，而且测算传导效应时需要进一步假定不同产业对每一种中间产品的投入份额都

是相同的，家庭对每种产品的消费份额也是相同的，这样的假设就导致了基准模型只能反映生产网络的拓扑结构引起的传导效应，而完全隔离了生产网络的权重结构的传导作用。定理 1 已经阐明了当经济系统受到冲击时，Domar 权重对 GDP 增速波动具有重要影响，公式（23）也表明 Domar 权重的方差越大，生产网络对冲击的传导效应就越大，而且现实中我国生产网络的权重结构确实是高度不对称的，少数关键产业在网络中的加权度比多数普通产业要高几个数量级，Domar 权重的分布也具有很明显的异质性。因此，在测算中国生产网络的传导效应时，权重结构是不容忽视的。本文改进的新测算方法，不仅放宽了基准模型的假设，拓宽了其适用性，而且能够捕捉到生产网络权重结构导致的传导效应，使测算结果更加准确。

对比 E 和 E^* 的值，可以发现，总传导效应中约 1/3 的部分是由于生产网络的权重结构导致的，因此产业结构优化引起的传导效应降低应该主要来源于生产网络权重结构的改变。因为生产网络的权重结构相比拓扑结构更容易调整。网络的拓扑结构刻画的是一种连接关系，例如，提供原材料和能源的产业往往处于生产链的上游，绝大多数其他产业都需要与它们形成连接，而这种连接是难以改变的。但是，不同产业在经济总量中的比重却是容易发生变化的，例如，通过价格机制和政策的引导，使得高耗能产业的份额降低，能源效率更高的产业份额上升，从而使得生产网络的权重结构得到调整。

5 结论与政策启示

本文以柯布道格拉斯经济中的生产网络传导模型为基准，阐释了产业层面的经济冲击如何通过产业间错综复杂的投入产出关联传导成宏观经济波动。然后，放宽该基准模型的假设，在更一般的条件下证明了这种传导效应不会随着产业细分而消失，并改进了测算生产网络传导效应的方法。这种新测算方法，不仅拓宽了基准模型的适用性，而且能够反映生产网络权重结构导致的传导效应，使测算结果更加准确。

本文采用中国加入世贸组织以来，2002 至 2020 年所有的竞争型投入产出表构建生产网络，考察了中国生产网络的拓扑结构、加权度的概率分布和对产业层面冲击的传导效应，并识别了传导冲击的关键产业。研究发现：一、中国生产网络具有小世界属性，直径短、密度大，不同产业之间的连接比较直接，产业间的关联程度较高。从 2002 年到 2020 年，生产网络规模日益扩大，产业链分工逐渐细化和专业化，不同产业之间的相互协作也不断深化。二、中国生产网络的加权度服从指数分布而不是幂律分布，这与美国等发达国家的情况不同。发达国家经济成熟，增速缓，产业结构稳定，因而生产网络的加权度大多呈现出幂律分布的形式。中国作为最大的发展中国家，经济增速快，产业结构不断调整，不同产业在增长率上有两极分化的趋势，反映到生产网络加权度中就呈现出指数分布的形式。三、生产网络传导效应的大小取决于网络的异质性程度，因此那些加权度远高于平均加权度的节点是生产网络中传导冲击的关键产业。从中间产品的供应方来看，这些关键产业主要可分为三类：商业服务（商务服务业、货币金融服务业）、原材料和能源供应（钢压延加工业、电力、热力生产和供应业）、中间产品流通环节（批发和零售业）。从中间产品的需求方来看，关键产业主要是一些位于产业链下游的整合部门，例如建筑业、汽车制造业等。四、从均值水平上看，我国生产网络的总传导效应为 0.376，换言之，产业层面受到的冲击经过生产网络的传导会使 GDP 增速的标准差增加 0.376，平均每个产业会使 GDP 增速的标准差增加 0.032。这表明产业层面的受到的微观冲击确实能够引起显著的宏观经济波动。

从时间趋势上看，2002 年到 2020 年，我国生产网络的传导效应总体比较稳定，但略有下降趋势。五、总传导效应中约 1/3 的部分是由生产网络的权重结构造成的，而原来的测算方法完全忽视生产网络的权重结构从而导致总对传导效应的低估。

本研究对于如何提高经济在面对冲击时的稳健性主要有如下两点启示：一、提高上游关键产业部门的抗风险能力。根据我国的产业结构特点，供给侧的冲击比需求侧的冲击可能造成的经济损失更大，而产业层面的供给侧冲击会不断地向下游传导。因此，对于上游关键产业部门，要避免通用的中间产品资源过于集中，可以通过分散式布局，分散风险。关键产业部门要通过做好应急预案、战略储备、培训预备机动人员等方式提高稳健性，在面对重大自然灾害、突发疫情等冲击时，不至于完全瘫痪，尽可能地减小向下游传导的冲击。二、通过优化产业结构能够减小生产网络的传导效应。生产网络传导效应的大小取决于网络的异质性程度，与发达国家相比，我国生产网络的异质性更大，因此抗风险能力较弱。优化产业结构可以通过调整生产网络的权重结构，减小传导效应。因而我们要为产业的转型升级创造良好的条件，尽快建成现代化的产业体系，实现经济高质量发展的同时，还能降低宏观经济的系统性风险。

参考文献:

[1] Guerrieri, V., G. Lorenzoni, L. Straub and I. Werning, Macroeconomic Implications of COVID-19: Can Negative Supply Shocks Cause Demand Shortages? [J]. American Economic Review, 2022,112(5), 1437-1474.

[2] Kydland, F. E. and E. C. Prescott. Time to Build and Aggregate Fluctuations [J]. Econometrica, 1982,50(6):1345-1370.

[3] Lucas, R. E. Econometric Policy Evaluation: A Critique [J]. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, 1976,1:19-46.

[4] Lucas, R. Understanding Business Cycles [J]. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, 1977,5(1), 7-29.

[5] Acemoglu D., V. M. Carvalho, A. Ozdaglar and A. Tahbaz-Salehi. The Network Origins of Aggregate Fluctuations [J]. Econometrica,2012,80(5):1977-2016.

[6] Leontief, W. W. Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States [J]. The Review of Economics and Statistics, 1936,18(3):105-125.

[7] Leontief, W. W. The Structure of American Economy, 1919-1929: An Empirical Application of Equilibrium Analysis [M]. 1941, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

[8] Koopman, R., Z. Wang and S J. Wei. Tracing Value-Added and Double Counting in Gross Exports [J]. American Economic Review, 2014,104(2):459-494.

[9] 潘文卿，李跟强. 中国区域的国家价值链与全球价值链：区域互动与增值收益[J]. 经济研究,2018,53(03):171-186.

[10] 樊纲,苏铭,曹静.最终消费与碳减排责任的经济学分析[J].经济研究,2010,45(01):4-14+64.

[11] Liu, Z., D. Guan, W. Wei, S. J. Davis, P. Ciais, J. Bai, S. Peng, Q. Zhang, K. Hubacek, G. Marland, R. J. Andres, D. Crawford-Brown, J. Lin, H. Zhao, C. Hong, T. A. Boden, K. Feng, G. P. Peters, F. Xi, J. Liu, Y. Li, Y. Zhao, N. Zeng and K. He. Reduced Carbon Emission Estimates from Fossil Fuel Combustion and Cement Production in China [J]. Nature, 2015,524(7565), 335-338.

[12] 刘世锦，韩阳，王大伟. 基于投入产出架构的新冠肺炎疫情冲击路径分析与应对政策[J]. 管理世

界,2020,36(05):1-12+51+263
[13] Carvalho, V. M. and A. Tahbaz-Salehi. Production Networks: A Primer [J]. Annual Review of Economics, 2019,11(1), 635-663.
[14] Long, J. B. and C. I. Plosser. Real Business Cycles [J]. Journal of Political Economy,1983, 91(1):39-69.
[15] Baqaee, D. R. and E. Farhi. Macroeconomics with Heterogeneous Agents and Input-Output Networks [R]. NBER Working Paper, 2018, No.24684.
[16] Gabaix, X. The Granular Origins of Aggregate Fluctuations [J]. Econometrica, 2011,79(3):733-772.
[17] Carvalho, V. and X. Gabaix. The Great Diversification and Its Undoing [J]. American Economic Review, 2013,103(5):1697-1727.
[18] Domar, E. D. Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment [J], Econometrica, 1946,14(2):137-147.
[19] Hulten, C. R. Growth Accounting with Intermediate Inputs [J]. The Review of Economic Studies,1978, 45(3): 511-518.
[20] Liu, E. Industrial Policies in Production Networks [J]. The Quarterly Journal of Economics, 2019,134(4): 1883-1948.
[21] Bigio, S. and J. La' O. Distortions in Production Networks [J]. The Quarterly Journal of Economics, 2020,135(4): 2187-2253.
[22] Acemoglu, D. and P. D. Azar. Endogenous Production Networks [J]. Econometrica,2020,88(1): 33-82.
[23] Oberfield, E. A Theory of Input - Output Architecture [J]. Econometrica, 2018,86(2):559-589.
[24] Taschereau-Dumouchel, M. Cascades and Fluctuations in An Economy with An Endogenous Production Network [R]. SSRN Working Paper,2020, No. 3115854.
[25] Acemoglu, D., U. Akcigit and W. Kerr. Networks and the Macroeconomy: An Empirical Exploration [J]. NBER Macroeconomics Annual, 2016,30:273-335.
[26] Carvalho, V. M., M. Nirei, Y. U. Saito and A. Tahbaz-Salehi. Supply Chain Disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake [J]. The Quarterly Journal of Economics.2021,136(2):1255-1321.
[27] Blöchl, F., F. J. Theis, F. Vega-Redondo and E. O. Fisher. Vertex Centralities in Input-output Networks Reveal the Structure of Modern Economies [J]. Physical Review E, 2011,83(4):046127.
[28] McNerney, J., B. D. Fath and G. Silverberg. Network Structure of Inter-industry Flows [J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications. 2013,392(24):6427-6441.
[29] Fadinger, H., C. Ghiglino and M. Teteryatnikova. Income Differences and Input-Output Structure [R]. SSRN Working Paper, 2016, No. 2847081.
[30] 干春晖,郑若谷,余典范.中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J].经济研究,2011,46(05): 4-16+31.
[31] 郭庆旺,贾俊雪.中国经济波动的解释:投资冲击与全要素生产率冲击[J].管理世界,2004,07:22-28.
[32] 刘伟,张辉.中国经济增长中的产业结构变迁和技术进步[J].经济研究,2008,43(11):4-15.
[33] 刘伟,李绍荣.产业结构与经济增长[J].中国工业经济,2002,05:14-21.
[34] 刘金全,张鹤.经济增长风险的冲击传导和经济周期波动的“溢出效应”[J].经济研究,2003,10:32-39+91.

[35] 陈胜蓝,刘晓玲.生产网络中的创新溢出效应——基于国家级高新区的准自然实验研究[J].经济学(季刊),2021,21(05):1839-1858.
[36] 倪红福.生产网络结构、减税降费与福利效应[J].世界经,2021,44(01): 25-53.
[37] 齐鹰飞,李苑菲.政府消费的生产性——基于生产网络模型的刻画、分解和检验[J].管理世界,2021,37(11): 56-70+105+5.